

Holzreste von spätglazialen Kiefern aus der tiefgründigen und tonreichen Permanententrutschung ‚Spiegelberg‘, Kanton Schwyz [Schweiz]

Conradin Zahno, Markus Gasser, Ruth Drescher-Schneider, Jakob Gasser, Christian Schlüchter

How to cite:

ZAHNO, C.; GASSER, M.; DRESCHER-SCHNEIDER, R.; GASSER, J.; SCHLÜCHTER, C. (2012): Pine samples of late glacial age found in the sediments of the deep and clay-rich landslide ‘Spiegelberg’, Schwyz (Switzerland) – E&G Quaternary Science Journal, 61 (1): 64–68. DOI: 10.3285/eg.61.1.05

Kurzfassung:

Die Hauptstrasse Nr. 8 zwischen Schwyz und Sattel verläuft durch aktive und tiefgründige Permanententrutschungen. Im lehmigen, matrix-gestützten Gehängeschutt der Rutschung ‚Spiegelberg‘ wurde zwischen 1979–81 die Gütschbrücke erstellt (LK: 690.314/211.943; 670 m ü.M.) und unter Anwendung von Gründungsschutzschächten im unterlagernden Fels fundiert. Beim Aushub des Schutzschachtes für den Pfeiler WL-Nord wurden in der Tiefe von 25 m bzw. 38 m unter Oberkante Terrain zwei Nadelbaumfragmente gefunden. Letzterer Holzfund lag wenige Meter über der Felsoberfläche. Die ¹⁴C-Altersdatierung der Holzfunde (beide *Pinus sylvestris*) ergaben kalibrierte Altersspannen zwischen 11.690–11.270 cal. a BP (2σ) am Übergang vom Grönland Stadial 1 (GS-1; ‚Jüngere Dryas‘) zum Holozän bzw. 13.830–13.640 cal. a BP (2σ) zu Beginn der spätglazialen Wärmeschwankung GI-1c (Grönland Interstadial 1c; ‚Allerød‘). Die vorliegenden Daten zeigen, dass die Hanginstabilitäten bei ‚Spiegelberg‘ nach dem Zerfall des letzteiszeitlichen Muota/Reussgletschers zu Beginn des Spätglazials eingesetzt haben mussten, und die Waldkiefer schon kurz nach den Kälterückschlägen des GI-1d (‚Aegelsee-Schwankung‘) bzw. des GS-1 am nördlichen Alpenrand präsent war.

Pine samples of late glacial age found in the sediments of the deep and clay-rich landslide ‘Spiegelberg’, Schwyz [Switzerland]

Abstract:

The main road H8 between Schwyz and Sattel crosses active landslide areas. The Gütsch bridge (Swiss coordinates: 690°314/211°943; 670 m asl.) was built in loamy matrix-supported sediments of the landslide area ‘Spiegelberg’ between 1979–81. Wood pieces were found during excavation of the foundation well for pillar ‘WL-Nord’ of which two samples were collected from 25 m and 38 m below surface, respectively. The bedrock surface i.e. the foundation base, was reached in 40 m below surface. The wood samples (both *Pinus sylvestris*) yielded calibrated radiocarbon ages between 11.690–11.270 cal. a BP (2σ) at the transition of the Greenland Stadial 1 (GS-1; ‘Younger Dryas’) to the Holocene and between 13.830–13.640 cal. a BP (2σ) i.e. the early interstadial GI-1c (Greenland Interstadial 1c; ‘Allerød’), respectively. The data indicate that the slope instability at the SW slope of the Engelstock was initiated after the decay of the local Muota/Reuss Glacier at the beginning of the late glacial period. Our dating results demonstrate the presence of Pine at the northern alpine border shortly after the cold pulses GI-1d (i.e. ‘Aegelsee oscillation’) and GS-1, respectively.

Keywords:

H8 Schwyz–Sattel, Steinen, Engelstock, subalpine molasse, landslide area, ¹⁴C-dating, late glacial, vegetation history

Addresses of authors: C. Zahno, Institut für Geologie, Universität Bern, Baltzerstrasse 1+3, CH-3012 Bern. Aktuelle Adresse: Sunnebergliweg 6, CH-6403 Küssnacht. E-Mail: conradin.zahno@gmx.net; M. Gasser, Tiefbauamt Kanton Schwyz, Abteilung Kunstbauten, Postfach 1251, CH-6431 Schwyz; R. Drescher-Schneider, Institut für Pflanzenwissenschaften der Karl-Franzens-Universität Graz, Holteigrasse 6, A-8010 Graz; J. Gasser, Kerngasse 4, CH-6442 Gersau; C. Schlüchter, Institut für Geologie, Universität Bern, Baltzerstrasse 1+3, CH-3012 Bern.

1 Einleitung

Die Hauptstrasse Nr. 8 Ingenbohl–Pfäffikon über den Sattelpass ist die wichtigste Verkehrsverbindung zwischen dem inneren und dem äusseren Teil des Kantons Schwyz (Abb. 1). Ab 1961 erfolgte der planmässige Ausbau des Strassenzugs, wobei geotechnische Herausforderungen in bekannten rutschanfalligen Gebieten am Engelstock zwischen Schwyz und Sattel bautechnisch zu bewältigen waren (GASSER 1983a, 1983b).

Die Ausdehnung sowie die geotechnischen Eigenschaften der Rutschmassen wurden im Rahmen des Strassenausbauprojektes Hauptstrasse Nr. 8 Ingenbohl–Pfäffikon und einer Dissertation (YAVUZ 1996) untersucht. Die Ergebnisse dieser Arbeiten bilden die Grundlage für die vorliegende ergänzende Studie. Bisher konnte die Frage nach dem Al-

ter der Rutschungen von YAVUZ (1996) nicht angegangen werden, da geeignetes Probenmaterial für radiometrische Altersdatierungen wie eingeschuppte Holzreste oder überfahrene Humushorizonte, obwohl in Sondierprotokollen beschrieben, nicht mehr verfügbar waren.

Die zwischen 1979–81 gebaute Gütschbrücke (Hauptstrasse Nr. 8 km 7.840, Objekt Nr. 1373-2, ca. 670 m ü.M.) überbrückt das Tobel bei ‚Gütsch‘ und musste durch die Rutschmasse ‚Spiegelberg‘ mittels Gründungsschutzschächten im Fels fundiert werden (Abb. 1, Abb. 2). Dabei kamen Baumfragmente zum Vorschein, von denen J. Gasser zwei Holzproben aus grosser Aushubtiefe sammelte, dokumentierte und privat archivierte. Auf der Basis dieser Holzstücke wird die offene Frage nach dem zeitlichen Beginn der Hanginstabilitäten neu aufgegriffen und versucht, mittels ¹⁴C-Datierungen einzugrenzen.

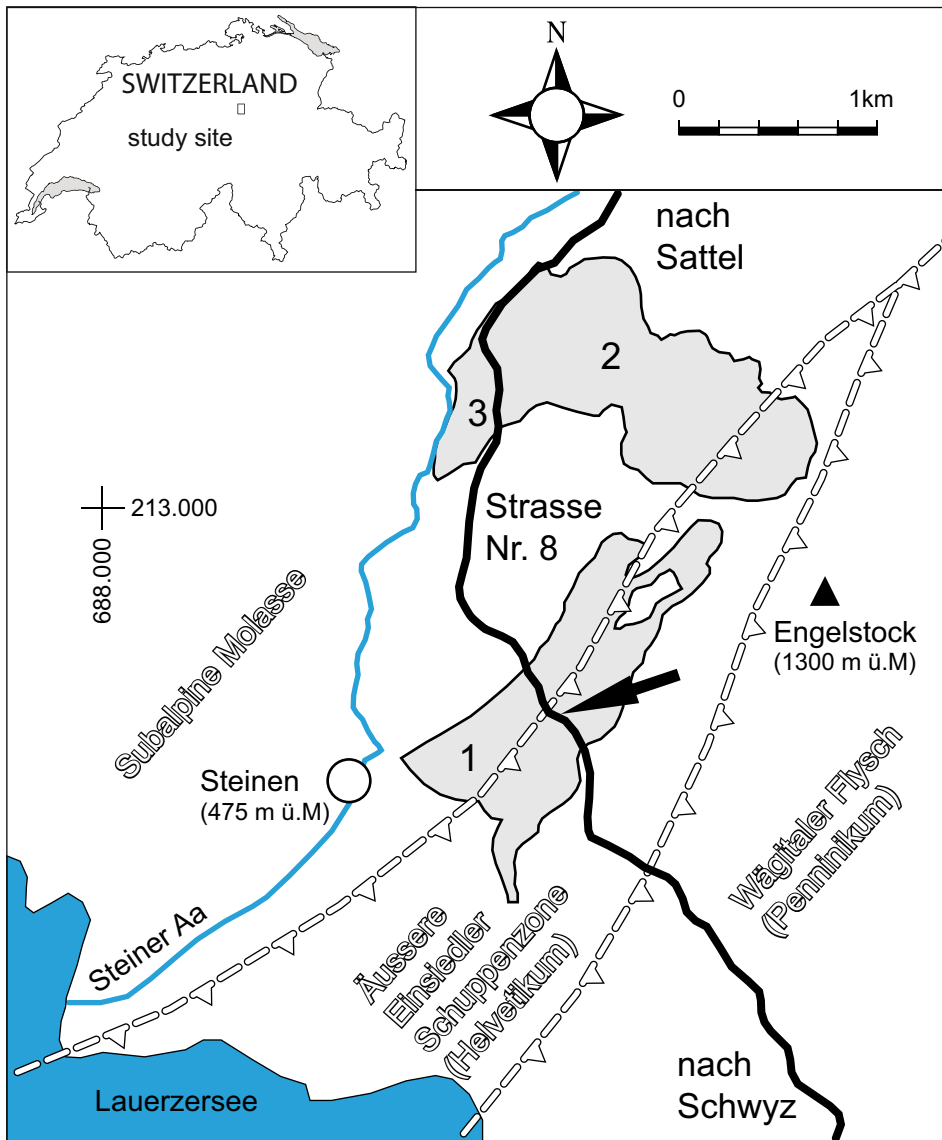


Abb. 1: Übersichtskarte mit dem Standort des 'Widerlager Nord' (Gütschbrücke) zwischen Sattel und Schwyz (Pfeil) sowie die tektonische Situation. Graue hinterlegte Flächen: 1 Rutschung 'Spiegelberg', 2 Rutschung 'Sattel' mit Teilrutschung 'Höchweid' (3) (nach YAVUZ & SCHINDLER 1997). Strichlierte Linien zeigen die Überschiebungen des nördlichen Alpenrandes.

Fig. 1: Overview and tectonic sketch map of the study area and location of the pillar 'Widerlager Nord' (Gütsch bridge) between Sattel und Schwyz (arrow). Given in grey are the landslide areas: 1 'Spiegelberg', 2 'Sattel', 3 'Höchweid' (nach YAVUZ & SCHINDLER 1997). Dashed lines indicate northern alpine frontal thrustplanes.

2 Geologisch-tektonischer Rahmen

Die Rutschmassen von 'Sattel', 'Höchweid' und 'Spiegelberg' überlagern den gegen NNW aufgeschobenen tektonischen Alpennordrand (Abb. 1). Von Nord nach Süd, bzw. von unten nach oben besteht der tektonische Schichtstapel aus den Einheiten der subalpinen Molasse, den helvetischen Gesteinen der Äusseren Einsiedler Schuppenzone und dem penninischen Wägitale Flysch. Die Schichtflächen der Gesteine fallen durchwegs 30–60° gegen SSE ein (HANTKE & KURIGER 2003; PFIFFNER 2009).

3 Rutschung 'Spiegelberg'

Die ausgedehnte und tiefgründige Permanent-rutschung 'Spiegelberg' reicht von 1150 m ü.M. (WNW Engelstock) bis östlich des Dorfes Steinen (470 m ü.M.) (Abb. 1). Die Rutschung ist rund 2.25 km lang, maximal 700 m breit und ist in einzelne, teils aktivere Rutschareale gegliedert. Die mittlere Geländeneigung beträgt 14° (YAVUZ & SCHINDLER 1997).

Die auf Wassereinwirkung empfindliche Rutschmasse aus einem lehmigen, matrixgestützten Gehängeschutt neigt zu plastischer Deformation und langsamen Kriech-



Abb. 2: Aushub eines Gründungsschutzschachtes mit einem elektrisch betriebenen Schreitbagger. Foto: J. Gasser, April 1980.

Fig. 2: Excavation of a foundation well. Photo: J. Gasser, April 1980.

bewegungen. Für die Periode zwischen 1992–93 konnten oberflächliche Verschiebungsbeträge von 2.5–8.5 cm a⁻¹ (in der Lage) und von -7 cm bis +10 cm (in der Höhe) photogrammetrisch ermittelt werden (YAVUZ 1996). Inklinometermessungen vor Baubeginn (SOLEXPERTS AG 1978) sowie

Tabelle 1: Probenbeschreibung.

Table 1: Sample description.

| Labor Nr. | Koordinaten ^{a)} | | Probenmaterial | Entnahmetiefe [m u. OKT] | Bemerkung ^{b)} | Dendro-Analyse |
|-----------|---------------------------|----------|-------------------------|-----------------------------|---|---|
| | E [m] | N [m] | | | | |
| B-9498 | 690.314 | 211.943 | <i>Pinus sylvestris</i> | 38 | Gehängelehm; örtlich durchnässt; Rutschzone im slope indicator | Stammfragment ca. 6x2 cm; weder Kern noch Waldkante erhalten; Kern rund 8 cm entfernt, d.h. Stammdurchmesser von mindestens ca. 22 cm; ausgeglichenes Wachstum; 19 Jahrringe mit mittlerer Breite von 1.612 mm erfasst |
| B-9499 | 690.314 | 211.943 | <i>Pinus sylvestris</i> | 25 | Gehängelehm | Teil einer ovalen Stammscheibe mit gerade noch erhaltenem Kern; mittlerer Durchmesser ca. 7 cm; wiederholte Phasen von Druckholzbildung; keine Waldkante erhalten; 66 Jahrringe mit mittlerer Breite von 1.038 mm erfasst |

^{a)} Schweizer Landeskoordinaten (LK)

^{b)} gemäss Begutachtungprotokoll BUSER 1980

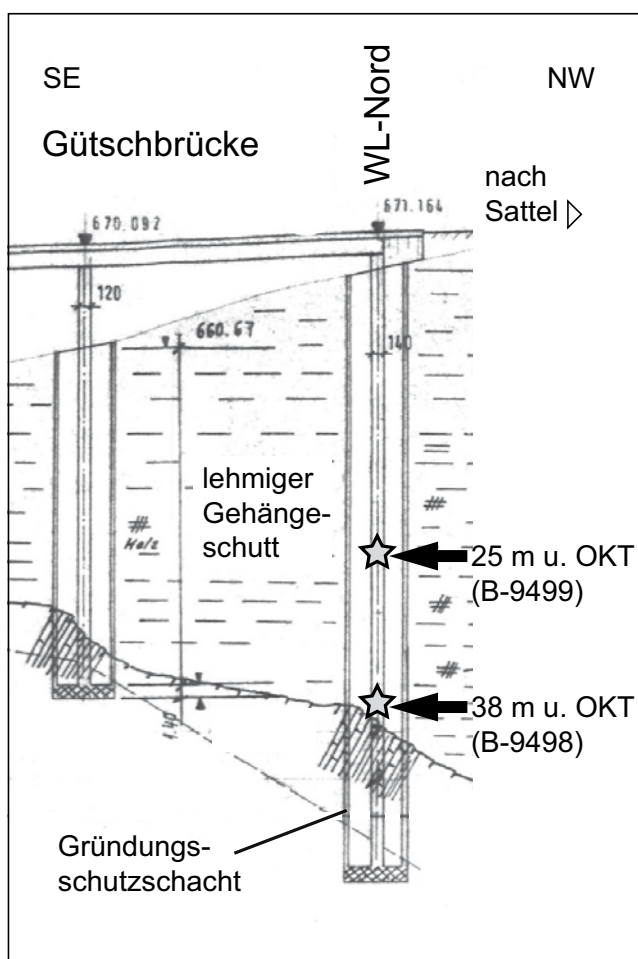


Abb. 3: Längsschnitt Gütschbrücke 1: 500 (Ausschnitt, nicht massstäblich). Die Holzreste wurden dem Aushub des Gründungsschutzschachtes WL-Nord entnommen. Modifiziert aus BUSER (1980).

Fig. 3: Longitudinal section of the Gütsch bridge 1: 500 (not at scale). The wood fragments were found in the foundation well for pillar 'WL-Nord'. Modified from BUSER (1980).

die Langzeitüberwachung des erstellten Gründungsschutzschachtes WL-Nord zwischen 1982 und 2010 (TIEFBAUAMT KANTON SCHWYZ 2010) zeigen keine signifikanten Rutschbewegungen.

4 Lage der Holzfundstücke, Dendro-Analyse und ¹⁴C-Altersdatierung

Die zwei Holzfundstücke wurden beim Aushub für den Gründungsschutzschacht des Pfeilers WL-Nord in 25 m bzw. 38 m unter Oberkante Terrain (u. OKT) gefunden (Tab. 1, Abb. 3, Abb. 4). Der Fels liegt rund 40 m u. OKT. Auf der geneigten Felsoberfläche wurde Wasser beobachtet.

Bei beiden Holzfundstücken handelt es sich um *Pinus sylvestris* (Waldkiefer). Die Bestimmung der Holzproben wurde von F. Schweingruber, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL, vorgenommen.

Die Jahrringbilder der Holzproben wurden von K. Nicolussi, Universität Innsbruck, analysiert. Aufgrund der kurzen Jahrringserie bzw. des stark gestörten Wachstums konnten jedoch keine Jahrringdatierungen durchgeführt werden. Die Resultate der Dendro-Analyse sind in der Tab. 1 festgehalten.

Die Holzstücke wurden von R. Fischer, Radiocarbon-Labor des Physikalischen Institutes der Universität Bern, durch Zählung der β -Zerfälle (beta counting) analysiert und die konventionellen ¹⁴C-Alter berechnet. Für die Kalibration der konventionellen ¹⁴C-Alter in Kalenderjahre wurde das Programm CALIB Version 5.0.2 verwendet. Die Laborresultate sowie die kalibrierten Altersspannen mit doppelter Standardabweichung (2 σ) sind der Tab. 2 zu entnehmen.

5 Diskussion und Schlussfolgerungen

Aus den vorliegenden Deformationsmessreihen vom Standort des WL-Nord lassen sich keine tiefgreifenden, aktiven Gleithorizonte ableiten (v.a. BUSER 1978). Die Rutsch-

Tabelle 2: Resultate der ^{14}C -Datierung.

Table 2: Conventional and calibrated radiocarbon ages.

| Labor Nr. | ^{14}C -Alter | | $\delta^{13}\text{C}$ [‰] |
|-----------|--|--|------------------------------|
| | konventionell [^{14}C a BP] | kalibriert ^(a) [cal. a BP] | |
| B-9498 | 11.870±40 | 13.640-13.830 | -25.3±0.2 |
| B-9499 | 9.990±40 | 11.270-11.690 | -24.6±0.2 |

^(a) Für die Kalibration der konventionellen ^{14}C -Alter in Kalenderjahre wurde das Programm CALIB Version 5.0.2 (<http://calib.qub.ac.uk/calib/>) in Verbindung mit STUIVER & REIMER (1993) und in Kombination mit dem INTCAL04 Kalibrationsdatensatz (REIMER et al. 2004) verwendet. Die kalibrierten ^{14}C -Altersbereiche sind angegeben mit den Extrema der zweifachen Standardabweichung (2σ).



Abb. 4: Fotos der beprobten Holzfundstücke (*P. sylvestris*).

(A) B-9499 (25 m u. OKT), (B) B-9498 (38 m u. OKT).

Fig. 4: Photographs of the investigated wood samples (*P. sylvestris*).

(A) B-9499 (25 m below surface), (B) B-9498 (38 m below surface).

masse ‚Spiegelberg‘ scheint im Bereich des WL-Nord einen bodenmechanischen Gleichgewichtszustand erreicht zu haben. Der Vermerk im Begutachtungsprotokoll von BUSER (1980), wonach über der Felsoberfläche eine aus Messungen ableitbare, aktive basale Gleitzone existiert (Tab. 1) kann mit den heute zur Verfügung stehenden Daten nicht nachvollzogen werden. Die Luftbildanalysen von YAVUZ (1996) zeigen jedoch, dass sich die Rutschung ‚Spiegelberg‘ bereichsweise mit mittlerer Intensität ($2\text{--}10\text{ cm a}^{-1}$) deformiert. Die derzeit massgebenden Gleithorizonte innerhalb der Rutschmasse müssen im Übergangsbereich der wei-

chen Deckschichten zu steifer gelagerten Lockergesteinen der Rutschmasse vermutet werden.

Die ^{14}C -Altersdatierung der Holzfunde ergaben kalibrierte Altersspannen zwischen 11.690–11.270 cal. a BP (2σ) und 13.830–13.640 cal. a BP (2σ). Die erstere Waldkieferprobe datiert am Übergang des Grönland Stadial 1 (GS-1; ‚Jüngere Dryas‘) zum Holozän (11.700 a vor 2000; LOWE et al. 2008). Das tiefer liegende Waldkieferstamm-Fragment kam zu Beginn der spätglazialen Wärmeschwankung GI-1c (Grönland Interstadial 1c; ‚Allerød‘) zur Ablagerung (13.950 a vor 2000; LOWE et al. 2008).

Auf Basis der älteren und nur wenige Meter über der Fels-oberfläche gefundenen Holzprobe ist zu folgern, dass die Hangbewegungen bei ‚Spiegelberg‘ spätestens seit dem Beginn der Allerød-Wärmephase aktiv sind. Dies unterstützt die Vermutung von YAVUZ & SCHINDLER (1997), wonach die Hanginstabilitäten am Engelstock zwischen Schwyz und Sattel nach der Eisfreiwerdung des Schweizer Mittellandes vor ca. 14.600 ^{14}C a BP (LISTER 1988; SCHLÜCHTER 1988; WESSELS 1989; MAGNY et al. 2003; IVY-OCHS et al. 2008) und frühestens nach dem Abschmelzen des lokalen Muota/Reussgletschers im Raum Schwyz einsetzten.

Die Interpretation der Jahrringbilder der Holzproben bekräftigt die Vorstellung, wonach die Hangdeformation nicht graduell, sondern eher in kurzfristig auftretenden Phasen verstärkter Rutschintensität ablief (vgl. Probe B-9499 in Tab. 1).

Im Vergleich mit der Vegetationsentwicklung des Schweizer Mittellandes ist das ältere Kiefernholzfundstück kaum jünger als die erste deutliche Kiefernaustrahlung zu Beginn der regionalen Pollenzone CHb-4a um ca. 12.000 ^{14}C a BP, die mit dem Beginn der Wärmephase des ‚Allerød‘ korreliert (WELTEN 1982; KÜTTEL 1989; LOTTER & ZBINDEN 1989; LOTTER et al. 1992). Der Holzfund gehört wohl zu den frühen spätglazialen *Pinus*-Hölzern der Schweiz nördlich der Alpen, jedoch nicht zu den ältesten, die aus dem Raum Zürich bekannt sind und bis ins GI-1e (‚Bølling‘) zurück datieren (vgl. SCHAUB et al. 2008). Erwähnenswert ist jedoch der Fundort unmittelbar am nördlichen Alpenrand und die Folgerung, dass die SW-Flanke des Engelstock bis mindestens auf 670 m ü.M. mit *P. sylvestris*, mit Stammdurchmesser von mindestens ca. 22 cm, bestockt war (vgl. Tab. 1).

Die Datierung des jüngeren *Pinus*-Holzstückes mit stark gestörtem Wachstum ist entsprechend dem ^{14}C -Plateau relativ ungenau (Tab. 2), liegt jedoch am Übergang zur regionalen Pollenzone CHb-4c (vgl. LOTTER et al. 1992) am Klimaübergang zwischen der ‚Jüngeren Dryas‘ und dem ‚Präboreal‘, basierend auf der Korrelation von Sauerstoffisotopenprofilen an Seesedimentkernen aus Gerzensee und Leysin zum GRIP-Eisbohrkern (SCHWANDER et al. 2000).

Die vorliegenden Daten zeigen, dass *P. sylvestris* schon kurz nach dem Ende der spätglazialen Kälterückschläge GI-1d (‚Aegelsee-Schwankung‘, 12.300–12.000 ^{14}C a BP; LOTTER et al. 1992) und GS-1 am nördlichen Alpenrand präsent ist.

Dank

Wir bedanken uns bei René Fischer (Radiocarbon-Labor, Universität Bern) für die Datierung der Holzproben. Fritz Schweingruber (Eidgenössische Forschungsanstalt WSL)

sowie Kurt Nicolussi (Universität Innsbruck) sind für die Dendro-Analysen herzlich gedankt. E. Vural Yavuz (Technische Universität Istanbul) danken wir für die nützlichen Informationen und Unterlagen zur Rutschung ‚Spiegelberg‘. Diese Untersuchung wurde vom Schweizerischen Nationalfonds (Projekt Nr. 200020–118038) mitfinanziert.

Literatur

- GASSER, J. (1983a): Der Ausbau der Hauptverkehrsstrasse T8 im Kanton Schwyz. – *Bau*, 4/83: 17–22.
- GASSER, J. (1983b): Die Hauptstrassen im Kanton Schwyz. – *Schweizer Journal*, 4/83: 32–34.
- HANTKE, R. & KURIGER, E. (2003): Überblick über die Geologie des Kantons Schwyz und seiner Nachbargebiete. – In: LIENERT, S. (ed.): *Geologie und Geotope im Kanton Schwyz*: 9–34; *Berichte der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft*, Heft 14.
- IVY-OCHS, S., KERSCHNER, H., REUTHER, A., PREUSSER, F., HEINE, K., MAISCH, M., KUBIK, P.W. & SCHLÜCHTER, C. (2008): Chronology of the last glacial cycle in the European Alps. – *Journal of Quaternary Science*, 23(6–7): 559–573.
- KÜTTEL, M. (1989): Züge der Jungpleistozänen Vegetations- und Landschaftsgeschichte der Zentralschweiz. – *Revue de Paléobiologie*, 8(2): 525–614.
- LISTER, G.S. (1988): A 15.000-year isotopic record from Lake Zürich of deglaciation and climatic change in Switzerland. – *Quaternary Research*, 29: 129–41.
- LOTTER, A.F. & ZBINDEN, H. (1989): Late-Glacial pollen analysis, oxygen-isotope record, and radiocarbon stratigraphy from Rotsee (Lucerne), Central Swiss Plateau. – *Eclogae geologicae Helvetiae*, 82(1): 191–202.
- LOTTER, A.F., EICHER, U., SIEGENTHALER, U. & BIRKS, H.J.B. (1992): Late-glacial climatic oscillations as recorded in Swiss lake sediments. – *Journal of Quaternary Science*, 7(3): 187–204.
- LOWE, J.J., RASMUSSEN, S.O., BJÖRCK, S., HOEK, W.Z., SEFFENSEN, J.P., WALKER, M.J.C., YU, Z.C. & the INTIMATE group (2008): Synchronisation of palaeoenvironmental events in the North Atlantic region during the Last Termination: a revised protocol recommended by the INTIMATE group. – *Quaternary Science Reviews*, 27: 6–17.
- MAGNY, M., THEW, N. & HADORN, P. (2003): Late-glacial and early Holocene changes in vegetation and lake-level at Hautrive/Rouges-Terres, Lake Neuchâtel (Switzerland). – *Journal of Quaternary Science*, 18: 31–40.
- PIFFNER, O.A. (2009): *Geologie der Alpen*. – 359 S.; Bern (Haupt Verlag).
- REIMER, P.J., BAILLIE, M.G.L., BARD, E., BAYLISS, A., BECK, J.W., BERTRAND, C.J.H., BLACKWELL, P.G., BUCK, C.E., BURR, G.S., CUTLER, K.B., DAMON, P.E., EDWARDS, R.L., FAIRBANKS, R.G., FRIEDRICH, M., GILDERSON, T.P., HOGG, A.G., HUGHEN, K.A., KROMER, B., MCCORMAC, G., MANNING, S., RAMSEY, C.B., REIMER, R.W., REMMELE, S., SOUTHON, J.R., STUIVER, M., TALAMO, S., TAYLOR, F.W., VAN DER PLICHT, J. & WEYHENMEYER, C.E. (2004): INTCAL04 terrestrial radiocarbon age calibration, 0–26 cal kyr BP. – *Radiocarbon*, 46: 1029–1058.
- SCHAUB, M., KAISER, K.F., FRANK, D.C., BÜNTGEN, U., KROMER, B. & TALAMO, S. (2008): Environmental change during the Allerød and Younger Dryas reconstructed from Swiss tree-ring data. – *Boreas*, 37: 74–86.
- SCHLÜCHTER, C. (1988): The deglaciation of the Swiss Alps: a paleoclimatic event with chronological problems. – *Bulletin de l'Association Française pour l'Etude du Quaternaire*, 2: 141–145.
- STUIVER, M. & REIMER, P.J. (1993): Extended ^{14}C data base and revised CALIB 3.0 ^{14}C Age calibration program. – *Radiocarbon*, 35: 215–230.
- SCHWANDER, J., EICHER, U. & AMMANN, B. (2000): Oxygen isotopes of lake marl at Gerzensee and Leysin (Switzerland), covering the Younger Dryas and two minor oscillations, and their correlation to the GRIP ice core. – *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 159: 203–214.
- WELTEN, M. (1982): Pollenanalytische Untersuchungen im Jüngeren Quartär des nördlichen Alpenvorlandes der Schweiz. – *Beiträge zur Geologischen Karte der Schweiz N.F.*, 162: 174 p.
- WESSELS, M. (1989): Natural environmental changes indicated by Late Glacial and Holocene sediments from Lake Constance, Germany. – *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 140: 421–432.
- YAVUZ, E.V. (1996): Analyse der Bewegung grosser, tonreicher Rutschgebiete am Beispiel des Gebietes Engelstock–Sattel–Steinen (SZ). – *Dissertation ETH Zürich* Nr. 11706, 186 S.
- YAVUZ, E.V. & SCHINDLER, C. (1997): Tonreiche Rutschungen im Grenzbereich subalpine Molasse – Flysch zwischen Sattel und Lauerzersee (Kt. Schwyz): Entstehung, Zusammensetzung und Bewegungsablauf. – *Bulletin angewandte Geologie*, 2(2): 123–149.

Geotechnische Berichte und Messreihen:

- BUSER, DR. HUGO (1978): T8 Hirschen–Mattli, Baubegleitung Slope-Indicator-Messungen (KB 15, KB 17). Aktennotiz der Besprechung vom 07.07.1978.
- BUSER, DR. HUGO (1980): Begutachtung der Aushubetappen der Brückenfundamente – Schächte der Brücke Gütsch (Situation 1: 500, Schachtprofil 1: 100, Längsschnitt 1: 500). Ausführung T8 Ingenbohl–Pfäffikon, Teilstrecke Hirschen–Matti, Plan Nr. 80-731 vom 10.09.1980.
- SOL-EXPERTS AG (1978): Sattel, Hirschen–Matti. Digitilt Slope Indicator, Deformationsmessungen des Hanges (12.5.1978 bis 29.08.1978, Messrohr Nr. 15 und Nr. 17).
- TIEFBAUAMT KANTON SCHWYZ (2010): H8 Schwyz–Sattel, Gütsch–Brücke, km 7.875, Objekt Nr. 1373-2. Deformationsmessungen der Schachtringe beim WL-Nord (Messreihe vom 29.03.1982 bis 16.06.2010).